

ブラウン管ガラスカレットのリサイクル・処理技術の現状と課題について

1. 基本的な考え方

本検討にあたっては、以下に示す基本的な考え方に基づき、ブラウン管ガラスカレットのリサイクル・処理技術の現状と課題を整理した。

- ・ まずは資源として有効利用するという観点からブラウン管ガラスカレットのリサイクルを優先する。
- ・ リサイクルにおいては、水平リサイクルを重視しつつ、それ以外のリサイクル手法に関しても、検討する。
- ・ ファンネルガラス及びパネルガラスの両方に適用可能となるリサイクル手法については、処理の困難性を鑑み、ファンネルガラスに優先的に適用する。
- ・ 有償及び逆有償でのリサイクルを行っても余剰量が発生する場合は、最終処分を視野に入れ、その技術的措置の検討を行う。

2. 水平リサイクル

家電リサイクルプラントにて再商品化されたブラウン管ガラスカレットのうち大半が、海外にてブラウン管として水平リサイクルされている。図1及び図2に精製ブラウン管ガラスの再商品化工程図、再商品化工程例及び製造工程例を示す。家電リサイクルプラント（再商品化施設）にて、P/F分割後、精製されたブラウン管ガラス原料はブラウン管ガラス製造者にてブラウン管としてリサイクルされている。

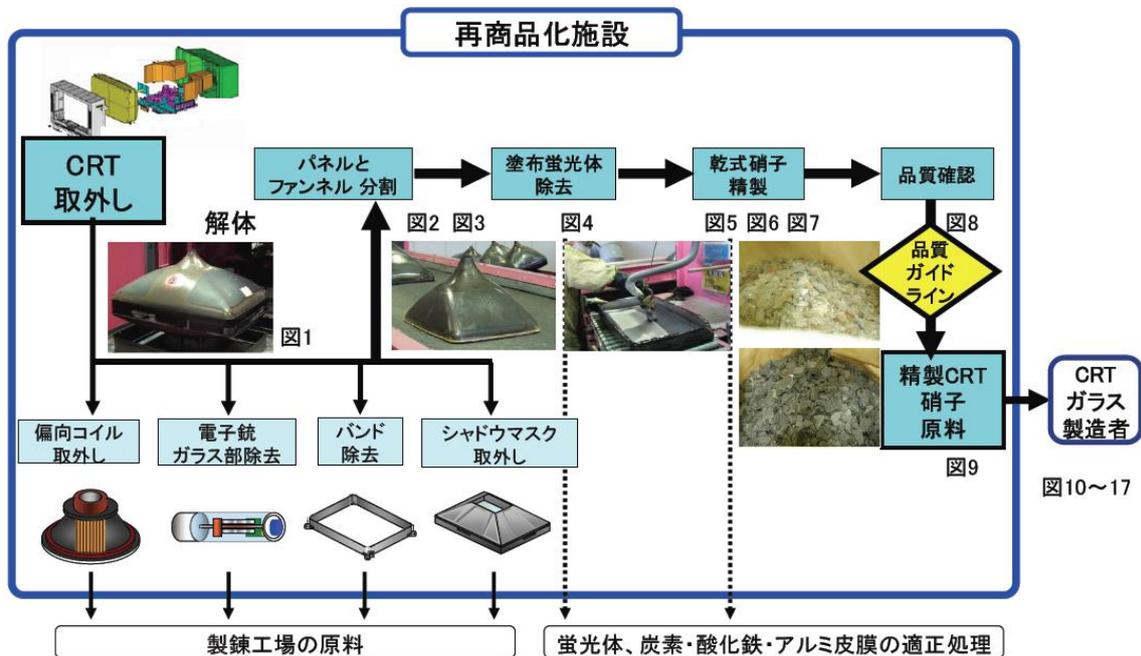


図1 精製ブラウン管ガラスの再商品化工程図

出典：産業構造審議会環境部会廃棄物・リサイクル小委員会電気・電子機器リサイクルワーキンググループ中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会家電リサイクル制度評価検討小委員会合同会合（第8回）資料4

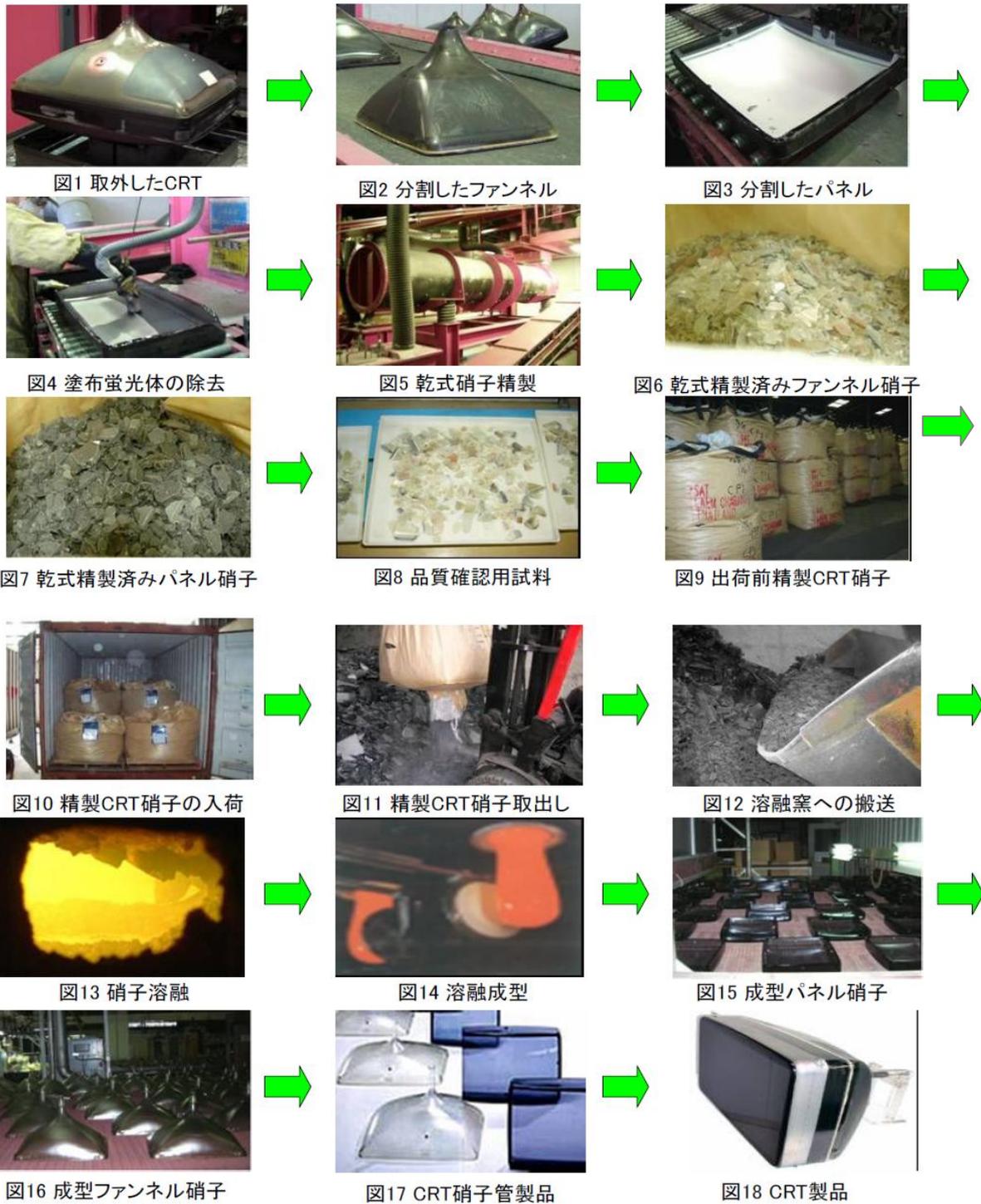


図2 精製ブラウン管ガラスの再商品化工程例及び製造工程例

出典：産業構造審議会環境部会廃棄物・リサイクル小委員会電気・電子機器リサイクルワーキンググループ中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会家電リサイクル制度評価検討小委員会合同会合（第8回）資料4

3. 水平リサイクル以外のリサイクル技術

3. 1 ファンネルガラスに適用可能となる技術

以下に示す、ファンネルガラスに適用可能となる技術について情報を整理した。

- ・ケミカルリサイクル（鉛精錬、亜鉛・鉛同時精錬、銅・鉛精錬）
- ・熱処理による鉛分離手法（還元溶融、塩化揮発、溶融分相法）
- ・湿式分離手法（アルコール浸出、電解還元、酸抽出、非加熱分離・回収）

(1) ケミカルリサイクル（国内処理）

ケミカルリサイクルとしては鉛精錬、亜鉛・鉛同時精錬、銅・亜鉛精錬といった精錬技術が挙げられる。これらは精錬工程にブラウン管ガラスを前処理なし、もしくは破碎後に投入し、ガラス分と鉛を分離することが可能である。ガラス分は鉍滓（スラグ）としての利用が期待され、一方、鉛は金属鉛として回収し、鉛バッテリーなどへの利用が期待される。最も受入可能量が大きいと見られる鉛精錬で年間 50,000t 程度である。

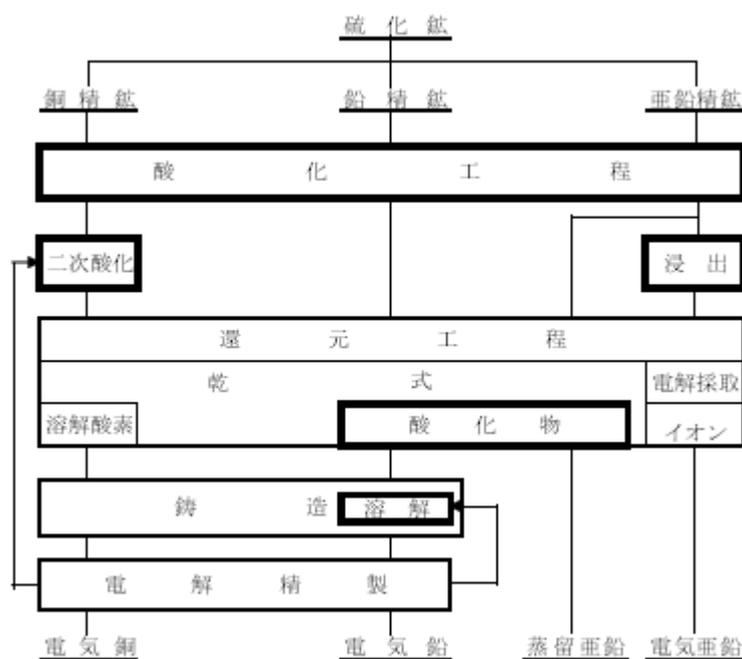


図3 非鉄精錬プロセスの総括的フロー

出典：平成 15 年度「非鉄金属製錬の有する現状リサイクル技術情報整理及び循環型社会の更なる構築に向けた活用策等の検討」報告書（要約版）（日本鉍業協会）

①鉛精錬

ファンネルガラスに含まれる鉛の割合は、20～30%と非常に大きいことから、鉛精錬の原材料としての利用に適している。

1) 状況

適正な処理費を徴収することで適正な処理が可能であり、処理量にあった受

け入れとなれば、ある程度可能である。

ある製錬事業者では、処理能力を 2009 年 10 月より 3,000～5,000 t に増強している。また、その他の製錬事業者では、ブラウン管ガラスの処理能力を 3,600 t に増やすべく、設備増強を行った例も見られる。

また、廃バッテリーの鉛リサイクルの一環として溶鉱炉の珪石の代替品として受入可能性あり。

2) 受入可能量

受入可能量は年間 6,000～7,000 t 程度受入可能と見込まれる。関係者からのヒアリングを総合すると、今後 10,000～12,000 t の受け入れが可能であると考えられる。設備投資や技術開発の結果によっては、更なる受入可能量の増加があり得る。

【参考情報】

- ・ ファンネルガラス・パネルガラスの洗浄時に生じるビリガラスは、非鉄精錬(鉛精錬)に年間 3,000 t 程度受入られている。
- ・ 国内 1 カ所ではあるが、銅精錬の操業安定化を目的に銅自溶炉製錬と鉛電気炉製錬のプロセス有する精錬所がある(銅・鉛精錬)。受入にあたっては事前試験が必要となり、受入が可能となった場合も少量(年間 600 t 程度)の受入となると考えられる。(メーカーに事実関係を確認中)

② 亜鉛・鉛同時精錬

1) 状況

亜鉛・鉛同時精錬においてはその処理能力に鑑み、操業に影響を与えない範囲で少量のブラウン管ガラス(主にファンネルガラス)を受け入れている。

技術的には問題なく処理が可能である。最終的にスラグとなるが、スラグフューミング炉で処理することにより、ファンネルガラス中の鉛を回収することが可能であり、スラグ中の鉛は 0.1% 未満まで低下する。

2) 受入可能量

2007 年度は年間 250 t を受け入れており、最大で年間 1,000 t 程度受入可能と考えられる。

(2) 熱処理による鉛分離手法(国内処理)

熱処理による鉛分離手法としては、還元溶融(比重分離)、還元溶融(揮発分離)、塩化揮発、溶融分相法といった技術が挙げられる。いずれも破碎・粉碎または造粒化といった前処理を要する。

還元溶融については実験値・理論値での鉛除去率は高く、鉛の回収・再利用、ガラスの有効利用の可能性が考えられる。ただし、粉碎を要し、かつ高温処理であ

ること、さらにはガラスの埋立処分費用が発生する可能性が考えられ、高コストな処理となることから経済的な実現可能性が低い。

塩化揮発法では揮発・除去した鉛の排ガス処理・排水処理工程での適切な処理が必要となる。鉛分離後のガラスは管理型または遮断型埋立処分場での最終処分か、または溶出試験の結果次第では路盤材等としての利用可能性が期待される。国内では、製鉄発生ダスト及び産業廃棄物の焙焼鉱から有価金属を回収する実プロセスが国内2ヶ所の製錬所で稼働中であり、ブラウン管ガラスに適用できる程度の低コストな処理が実現すれば適用可能性も考えられる。

溶融分相法は鉛がポレート相に移行することにより高い除去率が期待されるものの、技術的にまだ研究・実証段階にあり、早期の技術確立が望まれる。

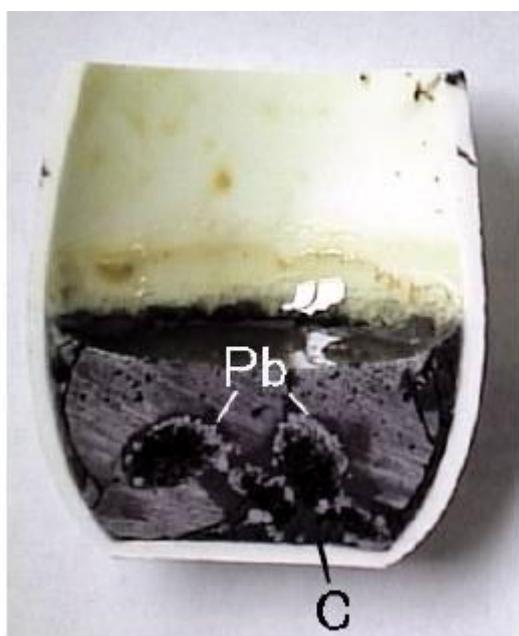


図4 ファンネルガラス粉末溶融後のガラス断面（一例）

出典：還元溶融による廃ブラウン管ガラスからの鉛分離
（北海道立工業試験場報告 No.304）

なお、還元溶融については、電気炉を用いた実証試験が実施されている。

実証試験結果によると、ファンネルガラスからの鉛の回収は技術的に可能（回収率99.6%（理論値））とのことである。

ただしコスト等も勘案すると、ファンネルガラスから鉛を回収するプロセスは（技術的には可能であっても）、現状ではその実現性は低い。

（3）湿式分離手法（国内処理）

湿式分離手法としては、アルコール浸出、電解還元、酸抽出、非加熱分離・回収（メカノケミカル法）といった技術が挙げられる。

アルコール浸出は鉛ガラスを高温高圧のアルコールで処理し、ガラス内の鉛成

分を還元して分離する技術であるが、鉛の除去率が不明（表面だけでなくガラス内部の鉛の除去も含む）であるなど技術的実証性が不確かである。また、粉碎を要し、かつ高温高圧処理であるため、高コストな処理となるため、実現可能性は未知数である。

電解還元は鉛ガラスを熔融塩中で電解還元させ、鉛を金属に還元して鉛を濃縮分離する技術であるが、アルコール浸出と同様、技術的実証性ならびに経済性の両面から実現可能性は現時点で不明である。

酸抽出は酸性抽出溶液を用いて鉛ガラスから鉛を分離する方法であるが、前処理として鉛ガラスを微粉碎する必要があるほか、ガラス粒子中の鉛は抽出することが困難であることから技術的実証性を確認する必要がある。ただし、熔融飛灰については光和精鉛株式会社が2006年2月に事業化済みである。

非加熱分離・回収（メカノケミカル法）は、キレート試薬であるEDTA存在下でボールミル処理を行うことにより鉛ガラスから非加熱で鉛を分離・回収する技術である。前処理として粗粉碎する必要があるほか、ボールミル処理でかなりのエネルギーならびにコストを要すると想定される。技術的にも研究段階にあり、現時点では適用可能性を評価する段階にはない。

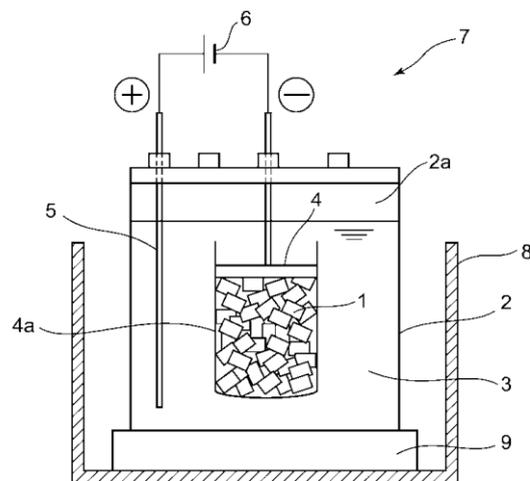


図5 電解還元のイメージ

出典：公開特許公報（川辺晃寛 他：特開 2008-200563）

3. 2 パネルガラスのみに適用可能となる技術

以下に示す、パネルガラスのみに適用可能となる技術について情報を整理した。

- ・ グラスウール
- ・ その他

(1) グラスウール (国内処理)

1) 状況

グラスウールの2009年の生産量は約17万tである(経済産業省生産動態統計より(166,957t))。そのうちリサイクル原料の利用実績は85%以上で、ほぼ飽和状態といえる。なお、リサイクル原料のほとんどがビン類由来であると考えられる(関連業界団体へのヒアリングより)。

2) 受入可能量

受入可能量は年間20,000~24,000t程度である。

(2) その他 (国内処理)

セラミックス、路盤材・建材、セメント等について研究開発中である。

タイル・陶器(受入可能量1,000t)、発泡ガラス(受入可能量2,000t)、ブロック・レンガ(受入可能量1,000t)の用途があるが、有価性はなくキャパも小さい。

4. 処理技術

鉛溶出の安定化を図るための処理方法としては、不溶化処理とコンクリート固化といった処理技術が挙げられる。

(1) 不溶化処理

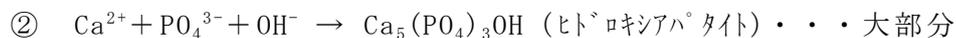
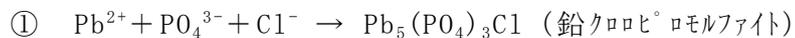
不溶化処理には、大きく分けて無機系と有機系の技術がある。

無機系については、鉛を難溶性の塩として固定化する手法である。

① リン酸系

リン酸系処理の一例として、リン酸系薬剤をファンネルガラスに添加し、ヒドロキシアパタイト及び難溶性のピロモルファイトを生成することで鉛の溶出制御を図る手法がある。

リン酸を添加すると



ヒドロキシアパタイトは鉛を固定化する性質を有し、最終的に鉛はリン酸と結合して最も安定な化合物となり不溶化する。



図6 リン酸系薬剤を用いた鉛の不溶化過程

(Eighmy T.T. et al., Characterization and phosphate stabilization of dusts from the vitrification of MSW combustion residues, Waste Management, 18 を参考に作成)

②炭酸化処理

鉛イオンが二酸化炭素と反応して難溶性の炭酸塩を生成することで鉛の溶出制御を図る手法。(焼却飛灰の埋立処分に際して鉛等の重金属汚染を防ぐための手法)

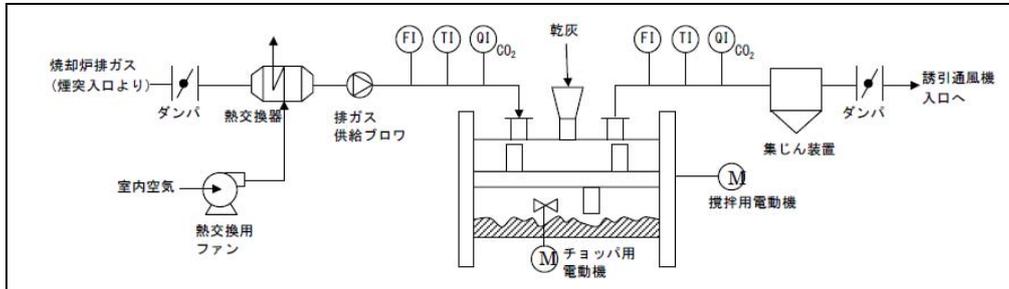


図7 炭酸化処理による鉛の不溶化過程

出典：島岡隆行、「持続型環境技術による廃棄物の循環資源化—廃棄物焼却灰リサイクルの考え方と研究の取り組み—」

有機系については、鉛を不溶性のキレート錯体として固定化する手法である。もともとは焼却飛灰中の鉛等の重金属を不溶化するための技術であり、ジチオカルバミン酸塩系及び二酸化硫黄発生を抑えたピペラジン系が主流である。

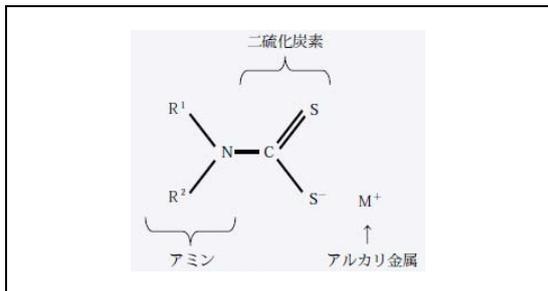


図8 ジチオカルバミン酸塩の構造

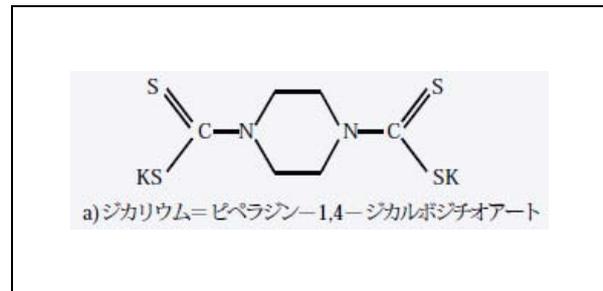


図9 ピペラジン系薬剤の例
東ソー（株）重金属処理剤 TS-275

出典：鈴木紳正、「ジチオカルバミン酸系重金属処理剤の特性」

無機系・有機系ともに粉末状態になる程度の粉砕が必要と考えられるため、そのためのコスト・エネルギーが懸念される。また、処理物を管理型埋立処分場に最終処分する場合、他の廃棄物からの影響（pHが変動するような場合等）で不溶化された鉛にどのような影響があるのか確認が必要である。したがって、技術面・経済面で課題がある。

(2) コンクリート固化

コンクリート固化は破碎した鉛ガラスを水硬性セメントと練り合わせ、鉛ガラスを固化した上で最終処分するという方法である。国立環境研究所の試験結果（詳細は、参考資料1を参照）によると、カレット単独と比較した場合、水との接触

による鉛の溶解は 1/100 程度に少なくなることが期待される一方で、遊離アルカリによる固化体の内部崩壊が起こった場合には長期にわたる固化体強度について保証が無いことや、固化体の亀裂から水が浸透した場合には鉛の溶出促進が想定されることが指摘されている。

5. まとめ

以上、3. 及び 4. で紹介した水平リサイクル以外のリサイクル技術と処理技術を 12～15 ページの表に整理する。上記のとおり、どの技術も一長一短であり、現時点で決め手となる技術がないのが実態である。ブラウン管ガラスのファンネル部分をカレット化するか否か、また、カレット化するにはどのような形状にするのか等、ブラウン管ガラスの物理的な処理と鉛のリサイクル・処理方法を適切に組み合わせ、検討していくことが必要と考えられる。

【参考文献】

1. 鉛精錬、2. 亜鉛・鉛同時精錬

インタビュー等に基づく

3. 還元溶融（比重分離）

- ・中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会 特定家庭用機器の再商品化・適正処理に関する専門委員会（第2回）、「ブラウン管ガラスカレットの取扱について」、
<http://www.env.go.jp/council/03haiki/y0319-02/mat04-2.pdf>
- ・稲野浩行他、「還元溶融による廃ブラウン管ガラスからの鉛分離」、北海道率工業試験場報告

4. 還元溶融（揮発分離）

- ・中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会 特定家庭用機器の再商品化・適正処理に関する専門委員会（第2回）、「ブラウン管ガラスカレットの取扱について」、
<http://www.env.go.jp/council/03haiki/y0319-02/mat04-2.pdf>
- ・稲野浩行他、「還元溶融による廃ブラウン管ガラスからの鉛分離」、北海道率工業試験場報告

5. 塩化揮発

- ・光和精鉱株式会社、「塩化揮発法の実例」、
<http://www.kowa-seiko.co.jp/technology/main/example.html>

6. 溶融分相法

- ・赤井智子、「廃ガラスの再資源化技術」、NEW GLASS Vol.21 No.1 2006

7. アルコール進出

- ・依田他、「鉛を含むガラス廃棄物からの鉛の分離方法」、特開 2002-346500、
<http://www.j-tokkyo.com/2002/B09B/JP2002-346500.shtml>

8. 電解還元

- ・栗田工業、「鉛含有ガラス廃棄物の処理方法」

9. 酸抽出

- ・早稲田大学環境総合研究センター 溶融飛灰資源化研究会 Web サイト、
<http://www.waseda.jp/weri/kenkyukai/hibai/result/kouwaseikou.html>
- ・独立行政法人産業技術総合研究所 Web サイト、
http://www.aist.go.jp/aist_j/aistinfo/aist_today/vol09_02/special/p12.html
http://www.aist.go.jp/aist_j/aistinfo/aist_today/vol09_02/vol09_02_p12_p13.pdf

10. 非加熱分離・回収

- ・久保尚司他、「キレート剤を用いた鉛ガラスからの鉛の非加熱分離・回収」、第 15 回廃棄物学会研究発表会論文集

11. 12. 不溶化処理

- ・三菱化学、「キレート樹脂」、http://www.diaion.com/products/chelate_01.html
- ・加賀谷重浩、「二酸化チオ尿素を用いる排水からの重金属回収法」、
<http://www.ccr.u-toyama.ac.jp/seeds/pdf/0133.pdf>
- ・環境省、「亜鉛の処理技術について」、
<http://www.env.go.jp/council/09water/y099-02/mat04.pdf>
- ・鈴木紳正、「ジチオカルバミン酸系重金属処理剤の特性」、
http://www.tosoh.co.jp/technology/report/pdfs/2004_03_04.pdf
- ・島岡隆行、「持続型環境技術による廃棄物の循環資源化－廃棄物焼却灰リサイクルの考え方と研究の取り組み－」、
http://www.recycle-ken.or.jp/k_seika/04/image/shima.pdf
- ・Eighmy T.T. et al.,
Characterization and phosphate stabilization of dusts from the vitrification of MSW combustion residues, Waste Management,18

13. コンクリート固化

- ・株式会社 NTS、「飛灰対策・有害物質除去・無害化・再資源化技術」

表1 水平リサイクル以外のファンネルガラスのリサイクル・処理方法

分類	No.	リサイクル・処理方法	概要	実現可能性					【参考】 経済性	
				ファンネル ガラスに 施す前処理	分離した鉛のリサイ クル方法	鉛抽出後のガラスの 処理方法	事業化 済み	研究中		備考
ケミカル リサイクル	1	鉛精錬	○鉛精錬 採掘された硫化鉛等の鉛鉱石に対し脱硫を行い酸化鉛を得て、それを還元して金属鉛を得るといふ二段の工程を行う手法。 ブラウン管ガラスは鉛精錬の原材料としても使用可能であるほか、溶鉛炉で用いる珪石の代替品として受入可能である。	前処理は不要	・他の硫化鉛等とともに金属鉛として回収される。 ・鉛バッテリー等に使用される。	・投入されたガラス分は鉛滓として利用される。	○		・ファンネルガラスに含まれる鉛の割合は、20～30%と大きいことから、鉛精錬の原材料としての利用は望ましく、現在でも年間 5,000t 程度の受入可能量が見込まれる（国内 4 箇所）。 ・廃バッテリーの鉛リサイクルの一環として溶鉛炉の珪石の代替品として受入可能性あり。	
			○鉛精錬（銅精錬に付随） 国内のある製錬所は銅自溶炉製錬と鉛電気炉製錬のプロセスを持ち、鉛精錬は主に銅精錬の操業安定化を目的として行われている。 鉛精錬の原料としては主に煙灰、亜鉛精錬残渣から得られる硫酸鉛を用いて溶錬、電解により鉛地金、副産物としてビスマス、酸化アンチモンを製造する。	破碎、ガス化溶融	・鉛地金として回収される。 ・鉛バッテリー等に使用される	・主に前処理のガス化溶融過程で生成される溶融スラグの成分となる。	○	・銅・鉛精錬では特殊な窯を持つ国内 1ヶ所での受入可能性あり。ただし、受入にあたっては事前試験が必要となり、受入が可能となった場合も少量のみの受入と想定される。 ・上述した特殊な窯を持つ製錬業者では自社内で有償処理の可能性あり。受入が可能と考えられる量は年間 600 t 程度。		
	2	亜鉛・鉛同時精錬	焼却灰、脱塩処理後のばいじん（脱塩汚泥）、無機汚泥、燃え殻、金属くずやガラスくず、鉛さいを焼結鉛やコークスとともに溶鉛炉へ投入し、原料及び産廃中の亜鉛は精留亜鉛と蒸留亜鉛、鉛は粗鉛、カドミウムはカドミウムペンシルとして地金化する手法。	前処理は不要	・電気鉛として回収される。 ・鉛バッテリー、ケーブル被覆などに使用される。	・他の原料の有用成分以外と一緒にスラグ化され、セメント原料やケーソン中詰め材として利用される。	○		・亜鉛・鉛同時精錬においてはその処理能力に鑑み、操業に影響を与えない範囲で少量のブラウン管ガラス（主にファンネルガラス）を受け入れている。2007 年度には 250t の受入実績があった（国内 2 箇所）。 ・技術的には問題なく処理が可能。最終的にスラグとなるが、スラグフューミング炉で処理することにより、スラグ中の鉛は 0.1%未満まで低下するため、ファンネルガラス中の鉛を回収することが可能。	
熱処理による 鉛分離手法	3	還元溶融 （比重分離）	鉛などを含有するものに、高温（1,000℃以上）にて還元剤、溶融助剤を加え溶融し、沈殿した鉛を分離する手法。	粉碎し、粉末化	・鉛として揮発および溶融ガラス中に沈殿。	・酸化鉛の除去率（99.6%）（理論値） ・鉛の除去率 96%（実験値）		○	・粉碎、高温溶融につき高コストな処理となる。 ・技術的な実現可能性は高いが、経済性等を勘案するとハードルは高い。	飛灰を溶融固化・薬剤処理を経て埋立処理するコスト（焼却飛灰）231,000 円/t（溶融飛灰）120,000 円/t 上記に加え、少なくとも以下が必要。 ・粉碎費用 （・ガラスの埋立処分費用：管理型約 5,980～16,600 円/t） 注：最終処分費用（容積あたり）は建設物価（2009 年 10 月）、ファンネルカレットの平均比重（3.01）は電気硝子工業会による。以下、同様。

分類	No.	リサイクル・ 処理方法	概要	実現可能性						
				ファンネル ガラスに 施す前処理	分離した鉛のリサイ クル方法	鉛抽出後のガラスの 処理方法	事業化 済み	研究中	備考	【参考】 経済性
熱処理による 鉛分離手法	4	還元溶融 (揮発分離)	鉛ガラスを粉砕し、還元剤を 添加し、約 1,000℃の高温かつ 減圧下で酸化鉛を溶融・還元し、 鉛金属を生成させ、金属鉛を回 収する手法。	粉砕し、粉末化	・金属鉛として揮発 回収。	・鉛の除去率(98.6%) (実験値)		○	・粉砕、高温溶融につき高コストな処 理となる(還元溶融(比重分離)よ りは低温)。 ・処理時間が長いなどの技術的課題や 経済性等を勘案するとハードルは 高い。	飛灰を溶融固化・薬剤処理 を経て埋立処理するコスト (焼却飛灰) 231,000 円/t (溶融飛灰) 120,000 円/t 上記に加え、少なくとも以 下が必要。 ・粉砕費用 (・ガラスの埋立処分費 用:管理型約 5,980~16,600 円/t)
	5	塩化揮発	鉛などを含有するものに、塩 化カルシウムなどの塩類を加え 加熱し、蒸気圧の高い塩化鉛と することで揮発分離する手法。	造粒化	・塩化鉛として捕捉。	・鉛の除去率(～ 99.9%)	○	・本法により製鉄発生ダスト及び産業 廃棄物の焙焼焼酎から有価金属を 回収する実プロセスが光和精鉛と 東邦亜鉛で稼働中。 ・ただしブラウン管ガラスに適用す るには高コスト(低コスト化の努力が 必要)。	PCB、ダイオキシン類汚染 土壌の浄化に本法を適用し た場合の対策費用 (汚染土壌) 50,000 ～ 120,000 円/t 上記に加え、少なくとも以 下が必要。 ・排ガス処理費用 ・排水処理費用:数万円 /m3 (・ガラスの埋立処分費 用:管理型約 5,980~16,600 円/t)	
	6	溶融分相法	鉛ガラスにホウ酸を添加し、 溶融することによりほうけい酸 ガラスを調整する。これを 500 ～600℃程度で熱処理すること でボレート相とシリカ相とに分 相する。鉛はボレート相に集積 されるがボレート相の酸耐性は 弱いため、酸処理により多孔質 ガラスと鉛を含有したホウ素含 有廃水とに分離する手法。	破碎	・ホウ素含有廃水か らの鉛の回収方法 は検討中(例:水 酸化物として析 出)。	・鉛の除去率に関す る記述は見られ ない(コバルト、鉄 の除去への適用事 例はある)。		○	・鉛がボレート相に移行することによ って高い除去率が期待される。 ・ホウ素の循環利用技術(排水処理) が必要。	プロセス費用はまだ研究段 階により不明。 上記に加え、少なくとも以 下が必要。 ・破碎費用 ・ホウ素含有廃水の処理費 用:数万円/m3(概算) (・ガラスの埋立処分費 用:管理型約 5,980~16,600 円/t)
湿式分離手法	7	アルコール浸出	酸化鉛を含有するガラス廃棄 物を高温高圧のアルコール(メ タノール)で処理し、ガラス内 の鉛成分を還元して表面に濃縮 させ、冷却後酸洗浄もしくは錯 化合物を含む溶液による洗浄に より、鉛のみを溶解して分離す る手法(アルコール浸出)。	粉砕	・処理後の廃ガラス 表面には金属鉛が 濃縮されており、 これを酸や錯形成 体を含む溶液で処 理して鉛を分離。	・鉛の除去率に関す る記述は見られ ない。		○	・粉砕、高温高圧処理のため、高コス トな処理となる。 ・技術的実証性(ガラス表面だけでな く内部の鉛除去の確認等)、経済性 等含め、実現可能性は未知数。	プロセス費用はまだ研究段 階により不明。 上記に加え、少なくとも以 下が必要。 ・粉砕費用 ・ホウ素含有廃水の処理費 用:数万円/m3(概算) (・ガラスの埋立処分費 用:管理型約 5,980~16,600 円/t)
	8	電解還元	酸化鉛を含有するガラス廃棄 物を溶融塩中で電解還元させ て、鉛を金属に還元してガラス 廃棄物表面に鉛を濃縮させ、鉛 のみを溶解(酸洗浄)して分離 する手法。	破碎	・処理後の廃ガラス 表面には金属鉛が 濃縮されており、 これを酸洗浄す ることで鉛を分離。	・鉛の除去率に関す る記述は見られ ない。		○	・特許公開情報(特開 2008-200563) に情報が限定されており、鉛の除去 率他未知数な部分が多い(アルコ ール浸出に近い手法と考えられる)。 ・処理温度が 650℃であり、高コス トな処理となる。 ・技術的実証性(ガラス表面だけでな く内部の鉛除去の確認等)、経済性 等含め、実現可能性は未知数。	プロセス費用はまだ研究段 階により不明。 上記に加え、少なくとも以 下が必要。 ・破碎費用 ・ホウ素含有廃水の処理費 用:数万円/m3(概算) (・ガラスの埋立処分費 用:管理型約 5,980~16,600 円/t)

分類	No.	リサイクル・ 処理方法	概要	実現可能性						【参考】 経済性
				ファンネル ガラスに 施す前処理	分離した鉛のリサイ クル方法	鉛抽出後のガラスの 処理方法	事業化 済み	研究中	備考	
湿式分離手法	9	酸抽出	硫酸、塩酸、硝酸などの酸性 浸出溶液を用いてガラス中から 鉛を分離する手法。 本法をブラウン管ガラスに適 用した事例は見受けられない (熔融飛灰を対象に水抽出及び 酸抽出を行い、鉛等の重金属類 を分離回収している事例があ る)。	粉碎し、粉末化	・抽出液中に可溶 性塩類として鉛化 合物を回収。	・鉛の除去率に関す る記述は見られな い。	○		・熔融飛灰については光和精鉱株式会 社が2006年2月に事業化済み。	汚染土壌に本法を適用(実 証試験)した際の 処理費 用 (汚染土壌) 148,000 円/t 飛灰に本法を適用した場合 の薬剤費(硫酸、チオ硫酸 ソーダ、苛性ソーダ、高 分子凝集剤等) (焼却飛灰) 32,310 円/t (熔融飛灰) 20,310 円/t 上記に加え、少なくとも以 下が必要。 ・粉碎費用 ・抽出費用 ・抽出液の処理費用: 数万 円/m ³ ・ガラスの埋立処分費用: 管理型約 5,980~16,600 円 /t
	10	非加熱分離・ 回収 (メカノケミカル法*) ※類似技術として ボール ミル処理と 塩化揮発法を 組合わせた手法も提案され ている	キレート試薬である EDTA 存在 下でボールミル処理を行うこと により、鉛ガラスから非加熱で 鉛を分離・回収する手法。	粗く粉碎	・液中に溶出する形 で鉛を分離。 ・鉛の利用に 関しては液中からの(鉛 としての)回収が 必要。	・鉛の除去率 99%以 上(実験値)		○	・粉碎のほか、ボールミル処理で相当 のエネルギー・コストを要する。特 に、経済性の観点からハードルが高 い。	プロセス費用はまだ研究段 階により不明。 上記に加え、少なくとも以 下が必要。 ・破碎費用 ・ホウ素含有廃液からの回 収費用: 数万円/m ³ (概算) (・ガラスの埋立処分費 用: 管理型約 5,980~16,600 円/t)
安定化手法	11	不溶化処理(無機)	鉛を難溶性の塩として固定化す る手法。 ①リン酸系 リン酸系薬剤をファンネルカ ラスに添加し、ヒドロキシアパ タイト及び難 溶性のヒモルファイトを生成す ることで鉛の溶出制御を図る手 法。 ②炭酸化処理 鉛イオンが二酸化炭素と反 応して難溶性の炭酸塩を生成 することで鉛の溶出制御を図 る手法。(焼却飛灰の埋立処分 に際して鉛等の重金属汚染を 防ぐための手法)	粉碎し、粉末化			○ (リン酸系)	○ (炭酸化処理)	・粉碎に要するコスト・エネルギーに ついて要確認。 ・管理型埋立処分場に最終処分する場 合、他の廃棄物からの影響(pH が 変動するような場合等)で不溶化さ れた鉛にどのような影響があるの か要確認。	熔融飛灰を処理する場合の 重金属安定剤、処理水、pH 調整剤の費用 (熔融飛灰) 約 33,760 円/t 上記に加え、少なくとも以 下が必要。 ・抽出液の処理費用: 数万 円/m ³ ・ガラスの埋立処分費用: 管理型約 5,980~16,600 円 /t
	12	不溶化処理(有機)	焼却飛灰中の重金属を、不溶性 のキレート錯体として固定化す る手法。ジチオカルバミン酸塩 系及び二酸化硫黄発生を抑えた ピペラジン系が主流である。	粉碎し、粉末化 (焼却飛灰と 同等の条件を 想定)			○ (焼却飛灰に 限る)			

分類	No.	リサイクル・ 処理方法	概要	実現可能性						【参考】 経済性	
				ファンネル ガラスに 施す前処理	分離した鉛のリサイ クル方法	鉛抽出後のガラスの 処理方法	事業化 済み	研究中	備考		
安定化手法	13	コンクリート 固化	<p>有害廃棄物の最終処分にあ って行われる代表的な無害化法 の1つであり、一般的には、水 硬性セメントと練り合わせて固 形化する手法。</p> <p>ただし、溶出試験により鉛等 の有害物質が溶出しないことを 確認する必要がある（ブラウン 管ガラスへの国内適用事例は見 受けられない）。</p>	セメントと混 練可能な大き さに破砕					○	<ul style="list-style-type: none"> 国内での同法適用によるリサイクル は未知数、最終処分については可 能。 オランダでは本法により調整された ガラスをコンクリート用の骨材と し、製品化されたコンクリートは EU域内で利用されている。 	<p>一廃由来の灰、飛灰の機械 洗浄方式によるセメント化 （主灰）26,000円/t （飛灰）55,000円/t セメント固化物の最終処分 費用：管理型約 3,900～ 6,300円/t 上記に加え、少なくとも 以下が必要。 ・破砕費用</p> <p>注：最終処分費用（容積あ たり）は建設物価（2009年 10月）参照、コンクリート （セメント固化物）の比重 は2.5とした。</p>

※ 上表に挙げている価格は実際にファンネルガラスに適用したものではなく、参考値である。